

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 1 月 29 日 (29.01.2004)

PCT

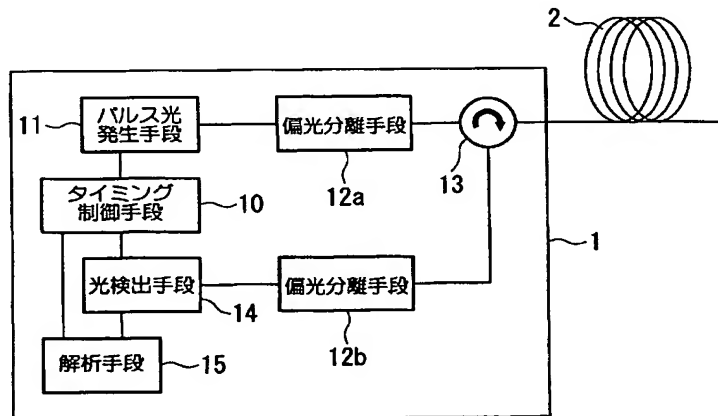
(10) 国際公開番号  
WO 2004/010098 A1

- (51) 国際特許分類: G01M 11/02  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009175  
(22) 国際出願日: 2003 年 7 月 18 日 (18.07.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2002-211387 2002 年 7 月 19 日 (19.07.2002) JP  
特願2002-261283 2002 年 9 月 6 日 (06.09.2002) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒135-8512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).  
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 谷川 庄二 (TANI-GAWA, Shoji) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 佐川 智春 (SAGAWA, Tomoharu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 池田 真拳 (IKEDA, Masataka) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 松尾 昌一郎 (MATSUO, Shoichiro) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 姫野 邦治 (HI-MENO, Kuniharu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 原田 光一 (HARADA, Koichi) [JP/JP]; 〒

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER POLARIZATION MODE DISPERSION MEASUREMENT METHOD AND MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 光ファイバの偏波モード分散の測定方法及びその測定装置



11...PULSE LIGHT GENERATION MEANS  
12a...POLARIZATION ISOLATION MEANS  
10...TIMING CONTROL MEANS  
14...LIGHT DETECTION MEANS  
12b...POLARIZATION ISOLATION MEANS  
15...ANALYSIS MEANS

(57) Abstract: An optical fiber polarization mode dispersion measurement method includes a step of inputting a pulse light subjected to a single rectilinear polarization to an optical fiber to be measured, a step of isolating the single rectilinear polarization from the backward scattering light by the input pulse light, a step of detecting the light intensity as time series data from pulse light generation, a step of calculating irregularities of the light intensity in the time series data, and a step of evaluating the polarized mode dispersion of the optical fiber to be measured.

(57) 要約: この光ファイバの偏波モード分散の測定方法は、単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、単一直線偏波を分離したのち、そ

[続葉有]



285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社  
フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒  
169-8925 東京都 新宿区 高田馬場三丁目 2 3 番 3 号  
OR ビル Tokyo (JP).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

(81) 指定国 (国内): CA, CN, JP, US.

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 光ファイバの偏波モード分散の測定方法及びその測定装置

## 技術分野

本発明は、光通信に用いられ、複屈折率が比較的小さい光ファイバの偏波モード分散の測定方法及びその測定装置に関する。

## 背景技術

光通信システムに用いられる光ファイバにおいては、コアの偏心や非円性、外部応力などにより、偏波モード分散（PMD）が生じることがある。偏波モード分散とは、光ファイバを伝搬する光の直交する2つの偏波モード間の群遅延差である。光ファイバの偏波モード分散が大きいと、この群遅延差によりパルス幅が広がるため、伝送速度の高速化を妨げる要因の一つになる。このため、光通信システムの設計や構築に際し、光ファイバの偏波モード分散がどのようなになっているのか、測定する必要がある。従来、光ファイバの偏波モード分散の測定方法としては、干渉法やジョーンズマトリクス法等が知られている。

しかしながら、従来の測定方法では、光ファイバの全長で累積された偏波モード分散しか測定することができない。このため、例えば、既設線路の高速化のため、偏波モード分散が大きい不良区間を除去しようとしても、その不良区間の特定が難しく、長い区間の光ファイバの張替えを行うか、短い区間で偏波モード分散の測定を繰り返して不良区間を特定する必要があり、不都合であった。

また、光ファイバから光通信ケーブルを製造するに際しても、予め、光ファイバの偏波モード分散の小さい区間を選別することができず、光ファイバをケーブル化したのち、それぞれのケーブルについて偏波モード分散を測定して検査する必要がある。このため、検査の手間が掛かるとともに、検査によって不良と判定された光通信ケーブルについては、ケーブル化に要したコストが無駄になる。

さらに、偏波モード分散の測定の際、被測定光ファイバの一端に投光部を、他端に受光部を設ける必要があるが、既設線路の所定の区間を対象とする場合など

では、投光部と受光部との距離が極めて遠くなるため、測定系の同期を取ることが難しいという不都合がある。

これらの問題に対して、例えば、B. ハットナーら、ジャーナル・オブ・ライドウェーブ・テクノロジー誌、第17巻、第10号、p. 1843-1848や、富岡ら、2002年電子情報通信学会総合大会、B-10-113、または、特開平2000-329651号公報等では、レーリー散乱光を利用して偏波モード分散の長手方向の分布を測定する方法が提案されている。

しかし、これらの方法は、波長可変光源、偏波コントローラ、偏波アナライザ、位相検出器等の非常に高価な装置を必要とするため、実用とするにはコストが高い。また、複数の偏光状態について測定を行うためには、測定時間が長くなったり、複数の光検出器が必要となったりするなどし、さらなるコスト増になる。

#### 発明の開示

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、簡単な装置で容易に光ファイバの長手方向に亘る偏波モード分散の分布を得ることができる光ファイバの偏波モード分散の測定方法及びその測定装置を提供することを課題とする。

本発明の第1の態様は、光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することができる。若しくは、光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、前記入力パルス光と同一の偏光面の単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価してもよい。

この場合、被測定光ファイバの偏波モード分散を評価するには、単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱

光から、前記入力パルス光と同一の偏波面の単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価することが好ましい。

また、被測定光ファイバの一端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第1の光強度のばらつきを算出し、

前記被測定光ファイバの他端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第2の光強度のばらつきを算出し、

前記第1の光強度のばらつきと前記第2の光強度のばらつきとの平均値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価してもよい。

さらに、被測定光ファイバの所定の区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの所定の区間の偏波モード分散を評価してもよい。若しくは、被測定光ファイバの長手方向の複数の各区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの偏波モード分散の長手方向の分布を評価してもよい。

また、光強度のばらつきは、最小二乗法による回帰残差のばらつきとして算出することが好ましく、さらには、光強度のばらつきの尺度は、標準偏差であり、また、最大値と最小値との差であってもよい。

本発明の第2の態様は、上記の光ファイバの偏波モード分散の測定方法を実施するための、光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、パルス光発生手段と、該パルス光発生手段により発生されたパルス光を被測定光ファイバの一端に入射させるとともに、該被測定光ファイバの一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段と、該光周回手段から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段と、該光検出手段の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを単一直線偏波とする少なくとも1個

の偏光分離手段とを具備する。

偏光分離手段は、前記入力光の偏光分離と前記出力光の偏光分離とが、それぞれ同一の偏光面の単一直線偏波を分離するように調整されることが好ましく、また、偏波合分波型カプラを用いることが好ましい。

また、汎用OTDR装置と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同一の偏光面の単一直線偏波とする偏光分離手段とを具備するものでもよい。この場合、前記汎用OTDR装置と前記偏光分離手段との間に、光増幅手段を備えることが好ましい。

#### 図面の簡単な説明

図1は、偏波モード分散の測定装置の第1例を示す概略構成図である。

図2は、被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度との関係の一例を示すグラフである。

図3は、被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度の回帰残差との関係の一例を示すグラフである。

図4は、被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方散乱光の光強度の回帰残差の所定間隔毎の標準偏差との関係の一例を示すグラフである。

図5は、偏波モード分散の測定装置の第2例を示す概略構成図である。

図6は、偏波モード分散の測定装置の第3例を示す概略構成図である。

図7は、偏波モード分散の測定装置の第4例を示す概略構成図である。

図8は、本発明の偏波モード分散の測定方法の第2例を模式的に説明するグラフである。

図9は、本発明の偏波モード分散の測定方法の第2例を模式的に説明するグラフである。

図10A～図10Cは、偏波モード分散が既知である標準光ファイバの後方散乱光の光強度の例を示すグラフである。

図11は、標準光ファイバにおける光強度のばらつきと偏波モード分散との関係の一例を示すグラフである。

図12A及び図12Bは、被測定光ファイバにおける長手方向の距離と、後方

散乱光の光強度の回帰残差との関係の一例を示すグラフである。

図 1 3 は、被測定光ファイバにおける光強度のばらつきと偏波モード分散との関係の一例を示すグラフである。

図 1 4 は、被測定光ファイバにおける光強度のばらつきの他の例を示すグラフである。

### 発明を実施するための最良の形態

以下、実施の形態に基づいて、本発明を詳しく説明する。

図 1 に、本発明の偏波モード分散の測定方法に用いられる測定装置の第 1 の実施の形態を示す。

この測定装置 1 は、タイミング制御手段 1 0 と、パルス光発生手段 1 1 と、第 1 および第 2 の偏光分離手段 1 2 a、1 2 b と、光周回手段 1 3 と、光検出手段 1 4 と、解析手段 1 5 とを備えている。

タイミング制御手段 1 0 は、パルス光の出力タイミングに対応したタイミング信号を、パルス光発生手段 1 1、光検出手段 1 4、解析手段 1 5 にそれぞれ出力する。タイミング信号は所定の時間幅を有するパルス状の信号である。

パルス光発生手段 1 1 は、数 k H z の波長の連続光を出射するもので、タイミング制御手段 1 0 から入力されたタイミング信号をトリガとして所定の波長の光パルスを出射する。このタイミング信号の信号幅を制御することによって光パルスの幅を適当に制御することができる。パルス光発生手段 1 1 としては、例えば、外部共振器付き半導体レーザ、半導体レーザ励起固体レーザ等が好適に用いられる。

第 1 および第 2 の偏光分離手段 1 2 a、1 2 b は、それぞれ入力パルス光および後方散乱光から特定の方向の単一直線偏光を分離するものである。被測定光ファイバ 2 への入力光の偏光分離と、被測定光ファイバ 2 への出力光の偏光分離は、それぞれ任意の偏光面を分離するように偏光分離手段 1 2 a、1 2 b を配置してもよいが、好適には、偏光分離手段 1 2 a、1 2 b が、それぞれ同一の偏光面の単一直線偏波を分離するように調整されていることが望ましい。例えば、任意の被測定光ファイバを測定使用としたときに、稀に、偏光分離手段によって分離さ

れた偏光面の光強度が小さくて測定できない場合がある。この場合、予め偏光分離手段 12 a、12 b を、同一の偏光面の単一直線偏波を分離させるように調整することによって、測定が可能になるよう被測定ファイバの軸方向と偏光面の角度の調整を行う際に、容易に偏光分離手段 12 a、12 b を調整できる。これらの偏光分離手段 12 a、12 b としては、バルク型偏光子などを用いることもできるが、偏波合分波型カプラは、低損失であり、高い信頼性を備えるので、ダイナミックレンジや長期信頼性の点から好ましい。偏光分離手段 12 a、12 b として使用できる偏波合分波型カプラとしては、例えば、特開 2001-51150 号公報に記載のものをを用いることができる。

光周回手段 13 は、パルス光発生手段 11 から入射された光を被測定光ファイバ 2 に入射させるとともに、被測定光ファイバ 2 からの後方散乱光を光検出手段 14 に出射する光部品である。この光周回手段 13 としては、サーキュレータ、ビームスプリッタ、方向性結合器などが好適に用いられる。

光検出手段 14 は、タイミング制御手段 10 から送られた制御信号に基づいて、パルス光の発生時点を知り、パルス光発生時点からの時系列として、第 2 の偏光分離手段 12 b により偏光化された後方散乱光の光強度を時間領域で測定する。これには、A/D 変換器などの光検出器を用いることができる。

解析手段 15 は、光検出手段 14 により検出された時系列データにおける光強度のばらつきに基づいて、後述の方法により、被測定光ファイバ 2 の長手方向に亘る偏波モード分散の分布を解析する装置である。これには、被測定光ファイバ 2 における距離と光強度との関係で表された時系列データを統計的に解析することができるような計算装置を用いることができる。

次に、上述の測定装置 1 を用いた光ファイバの偏波モード分散の測定方法の第 1 の実施の形態を説明する。

まず、パルス光発生手段 11 と第 1 の偏光分離手段 12 a を用いて、単一直線偏波としたパルス光を発生させ、これを光周回手段 13 を介して被測定光ファイバ 2 に入力する。被測定光ファイバ 2 に入力された入力パルス光は、被測定光ファイバ 2 を伝播する間に、レイリー散乱により後方に散乱され、測定装置 1 に戻ってくる。この後方散乱光から、第 2 の偏光分離手段 12 b を用いて、特定の単



一直線偏波を分離したのち、光検出手段 1 4 により、光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出する。

このようにして得られた光強度の時系列データは、例えば図 2 に示すように、横軸はパルス光発生からの時間、縦軸は光強度として測定される。パルス光発生からの時間は、測定装置 1 と被測定光ファイバ 2 における後方散乱光の発生箇所との間を光が往復するのに要する時間であり、これは、測定装置 1 と後方散乱光の発生箇所との間の距離に対応する。このような時系列データにおいて、後方散乱光の光強度には、ばらつきが生じている。

本発明者が鋭意検討した結果、入力パルス光を単一直線偏波とし、後方散乱光の光強度を、特定の単一直線偏波成分として検出した場合、光ファイバの偏波モード分散と、後方散乱光の光強度のばらつきには、単調な関係があり、偏波モード分散が大きいほど、光強度のばらつきが小さくなり、偏波モード分散が小さいほど、光強度のばらつきが大きくなる傾向を有していることが分かった。

この理由としては、以下のような理由が考えられる。

被測定光ファイバ 2 を伝搬するパルス光は、偏波モード分散により偏波状態が変化するが、偏波モード分散が大きいほど、より短い距離で変化する。

一方、測定装置 1 の空間分解能は、パルス光発生手段 1 1 より発生するパルス光の被測定光ファイバ 2 中での長さと、光検出手段 1 4 の時間分解能から決定される。

偏波モード分散が大きい場合には、被測定光ファイバ 2 中を伝搬するパルス光の偏波状態は、測定装置 1 の空間分解能よりも十分に短い距離で変化するために、後方散乱光の、単一直線偏波成分は平均化され、光強度のばらつきが小さくなる。

一方、偏波モード分散が小さい場合には、パルス光の偏波状態の変化は、測定装置 1 の空間分解能と同程度、もしくは空間分解能よりも長い距離で変化するために、後方散乱光の、単一直線偏波成分は平均化されることがなく、光強度のばらつきは大きくなる。

従って、光強度のばらつきに基づいて、光ファイバの偏波モード分散を評価することができる。

次に、得られた時系列データにおける光強度のばらつきから光ファイバの所定

の区間の偏波モード分散を評価する方法の1例について説明する。

光強度のばらつきを指標化するためには、まず、ばらつきの中心となる代表値を算出する必要がある。この代表値としては、例えば、当該区間内の光強度の平均値を用いることもできる。しかし、一般に、後方散乱光の光強度は入力パルス光の減衰により、距離が遠くなるにつれてほぼ一定の割合で減衰する。このため、距離と光強度の関係について被測定光ファイバ2の全長に亘り、最小二乗法により線形回帰を行い、この回帰推定量を前記代表値とし、光強度の測定値から最小二乗推定量を差し引いて得られる回帰残差に基づいて、光強度のばらつきを算出することが好ましい。これにより、距離による光強度の減衰の影響を相殺することができる。例として、図2の光強度の分布から、回帰残差の分布を算出した結果を図3に示す。このように、光強度を回帰残差に変換することにより、そのばらつきは、0を中心としたものになる。

光強度の回帰残差のばらつきは、統計学的に一般的に用いられている適切な尺度として指標化することができる。このような尺度としては、標準偏差、最大値と最小値との差（レンジ）、平均偏差、平均差等が挙げられるが、中でも、標準偏差は不偏であり、レンジは算出が容易であるので好ましい。

偏波モード分散の分布を求めるための区間の長さは、被測定光ファイバ2のビート長に合わせて決定することが好ましい。なお、ビート長とは、互いに直交するX偏波およびY偏波の位相差が光ファイバ中を伝播する間に $2\pi$ 増加する長さをいう。通常のシングルモード光ファイバでは、ビート長は数～数十mであるので、区間の長さをビート長の2～10倍とすることが好ましく、100m程度が適当である。これにより、偏波の位相差による測定値の偏りが十分に平均化され、有意義な値を得ることができる。

例として、図3に示す光強度の回帰残差の分布から、100m間隔で光強度のばらつきを算出した結果を、図4に示す。この図から分かるように、ビート長より十分長い区間長をとることにより、著しい振動や変動を平均化し、実際の偏波モード分散の分布に即したグラフを得ることができる。

上述のような手順により、各区間において、光強度の回帰残差のばらつきの尺度を求めれば、これは、当該区間の偏波モード分散と高い相関を示す。そこで、

ジョーンズマトリクス等の公知の方法により偏波モード分散が測定されている光ファイバを標準として、この標準光ファイバについて、光強度の回帰残差のばらつきの尺度を測定することにより、偏波モード分散と光強度の回帰残差のばらつきとの関係を求めることができる。そして、標準光ファイバの光強度の回帰残差のばらつきと、被測定光ファイバ2の光強度の回帰残差のばらつきとを比較することにより、被測定光ファイバ2の所望の区間の偏波モード分散を評価することができる。

標準光ファイバとしては、被測定光ファイバ2と材料や光学特性などが同種類であるものを用いることが好ましい。さらに、光強度の回帰残差のばらつきが、長手方向の全長に亘ってほぼ一様であるものを選択することが好ましい。

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法に用いられる測定装置の他の例について説明する。

図5に示す測定装置の第2例は、偏光分離手段12を光周回手段13と被測定光ファイバ2の間に配置することにより、入力パルス光と後方散乱光のいずれにも適用されるようにしたものである。他の構成は、図1に示す測定装置1の第1例と同様の構成とすることができる。この測定装置1によれば、必要な偏光分離手段12の個数を1個にすることができるので、測定装置1をより低価格にすることができる。しかも、図1に示す測定装置1では、より好適な実施形態として示した、入力パルス光の偏波方向と後方散乱光の偏波方向を一致させる場合に、第1の偏光分離手段12aと第2の偏光分離手段12bの方向をそれぞれ調整して、入力パルス光の偏波方向と後方散乱光の偏波方向を一致させる必要があったが、本実施の形態の測定装置1によれば、このような調整をする必要がない。

図6に示す測定装置1の第3例は、汎用のOTDR装置3と偏光分離手段12とを備える装置である。偏光分離手段12は、OTDR装置3と被測定光ファイバ2との間に配置されている。OTDR装置3には、タイミング制御手段10、パルス光発生手段11、光周回手段13、光検出手段14、解析手段15が含まれていることにより、図1に示す測定装置1と同様の測定を実施することができる。これにより、偏波モード分散を測定するときに汎用OTDR装置3と偏光分離手段12を組み合わせ、不要なときには偏光分離手段12を取り外し、通常の

汎用OTDR装置3として使用することができるので、偏波モード分散の測定を一層簡便に行うことができる。

図7に示す測定装置1の第4例は、図3に示す測定装置1のOTDR装置3と偏光分離手段12との間に、入力パルス光を増幅するための光増幅手段30を付け加えて配置したものである。この光増幅手段30は、光アンプ31と、2個のサーキュレータ32と、迂回用伝送路33からなる。サーキュレータ32の周回方向は、入力パルス光が光アンプ31側を伝播し、後方散乱光が迂回用伝送路33を伝播するようなものとされている。これにより、入力パルス光のみが増幅され、後方散乱光は偏光分離手段12により単一直線偏波成分を分離されたあと、そのままOTDR装置3に入射するので、より長距離の測定が可能になる。しかも、各部品は特殊なものではなく、すべて汎用品を使用できるので、コストが低減される。

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法の第2の実施の形態について説明する。

この測定方法においては、被測定光ファイバ2の両端を、例えば、それぞれa端、b端と呼んで区別するものとして、まず、測定装置1を被測定光ファイバ2のa端に接続し、上述した測定方法の第1例と同様の手法を用いて、前記a端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第1の光強度のばらつきを算出する。

次いで、測定装置1を被測定光ファイバ2のb端に接続し、同様にして、前記b端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第2の光強度のばらつきを算出する。

そして、a端側から測定された第1の光強度のばらつきと、b端側から測定された第2の光強度のばらつきとを、被測定光ファイバ2の長手方向の位置を揃えて平均し、この平均値に基づいて、上述した測定方法の第1の実施形態と同様の手法を用いることにより、被測定光ファイバ2の偏波モード分散を評価することができる。

このように、被測定光ファイバ2の各端から、それぞれ1回ずつ測定することが好ましい場合としては、例えば、被測定光ファイバ2が長尺である場合が挙げ

られる。この場合、測定装置 1 側の一端（入射端）から入力されたパルス光は、被測定光ファイバ 2 を長距離に亘って伝搬することにより、デポラライズされるため、該パルス光のコヒーレンシーが低下し、図 8 に模式的に示すように、測定装置 1 に戻ってきた光強度のばらつきが、実際の被測定光ファイバ 2 の偏波モード分散を反映した大きさよりも小さくなることがある。つまり、例えば、被測定光ファイバ 2 の偏波モード分散が長手方向全長に亘ってほぼ一定である場合、入射端からの累積偏波モード分散は、入射端からの距離によって決まり、図 8 に示すように、入射端から離れるほど累積偏波モード分散の影響をより強く受けて、光強度のばらつきが小さくなる。すると、入射端からの距離が遠い位置では、見掛けの偏波モード分散が、実際の偏波モード分散よりも悪いものとして観測されることになる。

このような見掛けの偏波モード分散の増大は、被測定点と測定装置 1 との距離が長いほど顕著であり、例えば被測定光ファイバ 2 の長さが 15 km 以上である場合には、この影響が無視できない。

このため、光強度のばらつきを a 端からの測定値と b 端からの測定値とで平均することにより、図 8 に破線で示すように、パルス光のコヒーレンシーの低下による見掛け上の偏波モード分散の劣化の影響を低減させ、より正確な値を得ることができる。

また、パルス光のコヒーレンシーの低下は、被測定点と測定装置 1 との間の累積 PMD によっても影響を受ける。例えば、被測定光ファイバ 2 の途中に偏波モード分散が著しく悪い区間があった場合、その区間より遠い位置の偏波モード分散は、その位置からの後方散乱光が前記偏波モード分散が著しく悪い区間を通過せざるを得ない。つまり、被測定点と測定装置 1 との間に偏波モード分散が著しく悪い区間があると、見掛け上、実際の値より悪く観測されがちである。

この問題について、図 9 に示す模式図を参照しながら説明する。例えば、被測定光ファイバ 2 の一部に偏波モード分散が著しく悪い区間が二箇所、p q および s t があるものとする（点 p、点 q、点 s、点 t の順序は、この順で a 端から b 端に向かうものとする）。

a 端からパルス光を入力して測定した前記光強度のばらつきの波形 A P Q S T

Bにおいて、区間p qの影響によりラインA PとラインQ Sとの間に段差 $\Delta 1$ が生じ、区間s tの影響によりラインQ SとラインT Bとの間に段差 $\Delta 2$ が生じるので、光強度のばらつきは、区間q sにおいて $\Delta 1$ だけ、また、区間t bにおいて $\Delta 1 + \Delta 2$ だけ余計に低下する。このため、一端側からの測定だけでは、測定装置から遠い側の区間における偏波モード分散が、見掛け上、実際の偏波モード分散より悪く観測されることになる。

そこで、同様にして、測定装置1をb端側に接続し、このb端からパルスを入力して光強度のばらつきを測定すると、前記光強度のばらつきの波形A' P' Q' S' T' B'において、区間s tの影響によりラインT' B'とラインQ' S'との間に段差 $\Delta 2$ が生じ、区間p qの影響によりラインQ' S'とラインA' P'との間に段差 $\Delta 1$ が生じるので、光強度のばらつきは、区間q sにおいて $\Delta 2$ だけ、また、区間a pにおいて $\Delta 1 + \Delta 2$ だけ余計に低下する。

従って、a端からの測定値とb端からの測定値とを平均すれば、区間a p、区間q s、区間t bの間に、段差 $\Delta 1$ および段差 $\Delta 2$ の影響が均等に生じ、その影響を相殺することができるので、被測定光ファイバ2の中で、実際に偏波モード分散が悪い区間を、確実に特定することができる。

次に、本発明を実施例に基づいてより詳しく説明する。

偏波モード分散が長手方向の全長に亘ってほぼ一様であり、ジョーンズマトリクス法により $0.04 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 、 $0.09 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 、 $0.12 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ の標準となるシングルモード光ファイバについて、単一直線偏波としたパルス光を入力し、それによる後方散乱光の入力パルス光と特定の単一直線偏波成分の強度を測定したものをそれぞれ、図10A～図10Cに示す。これらの結果に示されているように、偏波モード分散が大きいほど、光強度の変動幅が小さくなっている。

図11に、ジョーンズマトリクス法により求められた偏波モード分散の測定結果と、本測定方法により測定された光強度のばらつきとの関係を示す。横軸はジョーンズマトリクス法にて測定された偏波モード分散であり、縦軸は、本発明の測定方法を用いて測定された光強度の回帰残差の標準偏差である。ジョーンズマトリクス法と本発明の測定方法とのいずれにおいても、それぞれの標準光ファイ

バについて、測定を時間をおいて5回繰り返し、その平均値をとっている。

図11に示すように、偏波モード分散と光強度のばらつきとの間に、非常によい相関が得られている。これにより、本発明の測定方法により、光ファイバの偏波モード分散を評価することが可能であることが分かる。

次に、上記図5の装置を用いて光強度の時系列測定を行った。ここで用いた被測定光ファイバ2は、ジョーンズマトリクス法により偏波モード分散が既知のシングルモード光ファイバを1.2 kmずつ、18本用意し、これらを順に接続したものである。

図12に、上記被測定光ファイバ2についての光強度の時系列データを示す。

図12Aは、全体を、図12Bは、測定装置に近い側の4本分を示している。

このように、被測定光ファイバ2の長手方向に偏波モード分散の変化が存在している場合、それに対応して光強度のばらつきが変化していることが分かる。

上記被測定光ファイバ2の各区分について測定された。図13に、光強度のばらつきと、ジョーンズマトリクス法によって測定された偏波モード分散との関係の一例を示す。

図13中、■は、上記被測定光ファイバ2に対する結果であり、◆は、図9に示す標準光ファイバに対する結果である。図13に示す結果から明らかなように、長手方向に18本の光ファイバを接続し、総延長を約21.6 kmとした場合でも、偏波モード分散と光強度のばらつきとの相関関係は、図9の結果と同様の傾向を示し、偏波モード分散が $0.10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ を超える区間と、下回る区間とを、明瞭に識別することができた。

すなわち、複屈折率が比較的小さく、偏波モード分散が $0.01 \sim 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 程度となる光ファイバについて、長手方向の偏波モード分散の分布を十分実用的な程度に測定し、偏波モード分散が比較的大きい不良区間と比較的小さい優良区間とを一回の測定にて区別することができた。

なお、偏波モード分散と光強度のばらつきとの相関にずれが見られるのは、被測定光ファイバ2についてのジョーンズマトリクス法の測定を、各区分1回ずつのみ行ったためであり、ジョーンズマトリクス法の誤差の影響(標準偏差は約 $0.01 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ )を受けているためである。

さらに、図 7 に示すように光増幅手段 30 を用いて被測定光ファイバ 2 に入出力されるパルス光および後方散乱光を増幅して測定したところ、測定可能距離を約 30 km とし、光増幅手段 30 を用いない場合に比べて、1.5 倍に延長することができた。また、本発明による偏波モード分散の測定値は、測定ジョーンズマトリクス法により測定した偏波モード分散の測定値とほぼ一致した。

次に、本発明の偏波モード分散の測定方法の第 2 の実施の形態に関する実施例を説明する。

被測定光ファイバは、長さが約 35 km であり、ジョーンズマトリクス法により、偏波モード分散が既知である。また、測定装置としては、図 6 に示す測定装置を用いた。被測定光ファイバの長手方向のそれぞれの位置における光強度のばらつきは、100 m ごとに区間を分け、各区間の範囲での光強度の回帰残差の標準偏差として求めた。

図 14 に、被測定光ファイバ 2 の一端（a 端と呼ぶことにする）からの光強度のばらつきを太い実線で、他端（b 端と呼ぶことにする）からの光強度のばらつきを太い一点鎖線で示す。また、a 端からの測定値と b 端からの測定値を平均した値を太い破線で示す。

図 14 中、直線 J は、被測定光ファイバ 2 の全長に対して、ジョーンズマトリクス法で測定された PMD の平均値から推定される光強度のばらつきのレベルを示し、また、直線 H は、本発明の手法を用いて測定された光強度のばらつきの平均のレベルを示している。

この結果からわかるように、光強度のばらつきは、比較的一致したパターンを示して上下しているものの、測定装置 1 の側から見て、PMD の悪い区間（例えば、図 14 中の X1、X2）より遠いところでは、例えば、b 端から測定した場合の Y 付近や、a 端から測定した場合の Z 付近のように、光強度のばらつきがかなり小さくなり、PMD が見掛け上、悪く観測される区間が現れていることが見て取れる。また、これらの区間 Y、Z 付近において、図 14 に太い破線で示される平均値においては、光強度のばらつきは、ジョーンズマトリクス法の測定に基づく推定値にかなり近くなっていることから、被測定光ファイバの両端のそれぞれからの測定値を平均することにより、前記 PMD の悪い区間の影響を避ける



ことができることが分かる。

#### 産業上の利用の可能性

本発明によれば、光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、パルス光発生手段と、該パルス光発生手段により発生されたパルス光を被測定光ファイバの一端に入射させるとともに、該被測定光ファイバの一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段と、該光周回手段から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段と、該光検出手段の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段と、被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを単一直線偏波とする少なくとも1個の偏光分離手段とを具備する測定装置を用いるので、波長可変光源、偏波コントローラ、偏波アナライザ、位相検出器も必要とせず、簡便な装置を用いて、実用的な精度にて、光ファイバの偏波モード分散の長手方向の分布を測定することができるという効果を有する。

## 請求の範囲

1. 光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、

単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価する。

2. 光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、

単一直線偏波としたパルス光を被測定光ファイバに入力し、この入力パルス光による後方散乱光から、前記入力パルス光と同一の偏光面の単一直線偏波を分離したのち、その光強度をパルス光発生からの時系列データとして検出し、この時系列データにおける光強度のばらつきを算出し、この算出値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価する。

3. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、

被測定光ファイバの一端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第 1 の光強度のばらつきを算出し、

前記被測定光ファイバの他端に単一直線偏波としたパルス光を入力して前記光強度の時系列データを検出することにより、第 2 の光強度のばらつきを算出し、

前記第 1 の光強度のばらつきと前記第 2 の光強度のばらつきとの平均値に基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を評価する。

4. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、

被測定光ファイバの所定の区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの所定の区間の偏波モード分散を評価する。

5. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、  
被測定光ファイバの長手方向の複数の各区間について測定された前記光強度のばらつきを、偏波モード分散が既知の光ファイバについて同様の方法により測定された光強度のばらつきと比較することにより、前記被測定光ファイバの偏波モード分散の長手方向の分布を評価する。

6. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、  
前記光強度のばらつきは、最小二乗法による回帰残差のばらつきとして算出する。

7. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、  
前記光強度のばらつきの尺度は、標準偏差である。

8. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法であって、  
前記光強度のばらつきの尺度は、最大値と最小値との差である。

9. 請求項 1 又は 2 に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法を実施するための、光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、  
パルス光発生手段と、

該パルス光発生手段により発生されたパルス光を被測定光ファイバの一端に入射させるとともに、該被測定光ファイバの一端に戻ってきた後方散乱光を出射する光周回手段と、

該光周回手段から出射された後方散乱光の光強度をパルス光発生からの時系列として検出する光検出手段と、

該光検出手段の出力に基づいて、光ファイバの偏波モード分散を解析する解析手段と、

被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを単一直線偏波とする少なくとも 1 個の偏光分離手段とを具備する。

10. 請求項9記載の光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、  
前記偏光分離手段は、前記入力光の偏光分離と前記出力光の偏光分離とが、それぞれ同一の偏光面の単一直線偏波を分離するように調整される。
11. 請求項9記載の光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、  
前記偏光分離手段は、偏波合分波型カプラである。
12. 請求項1又は2に記載の光ファイバの偏波モード分散の測定方法を実施するための、光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、  
汎用OTDR装置と、  
被測定光ファイバへの入力光と被測定光ファイバからの出力光とを同一の偏光面の単一直線偏波とする偏光分離手段とを具備する。
13. 請求項12記載の光ファイバの偏波モード分散の測定装置であって、  
前記汎用OTDR装置と前記偏光分離手段との間に、光増幅手段を備える。

1/10

FIG. 1

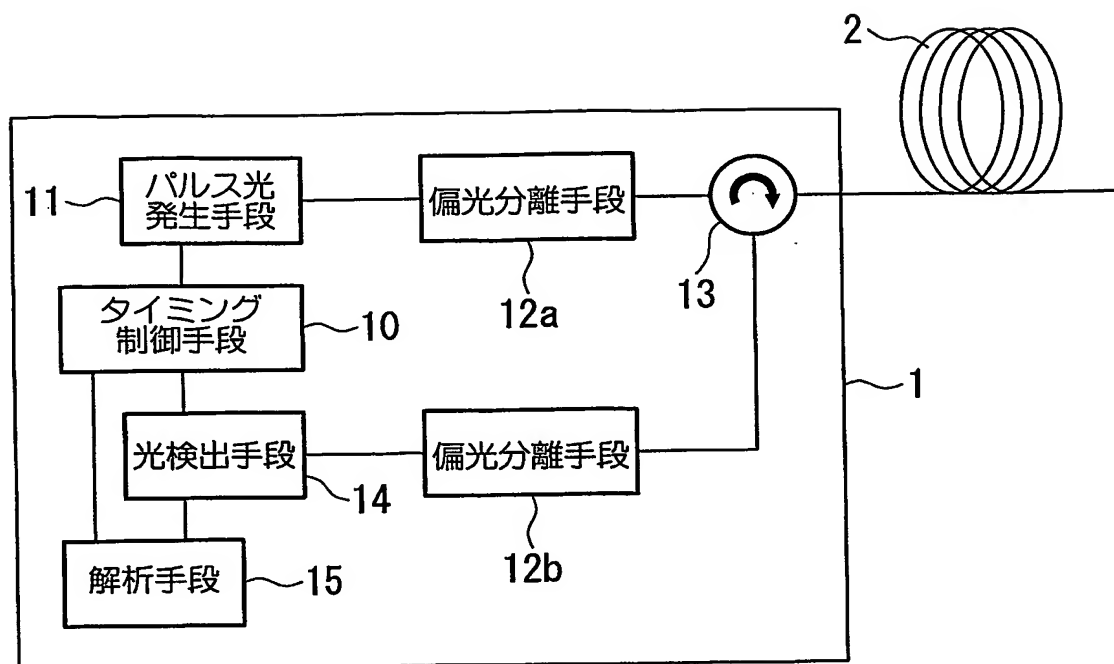
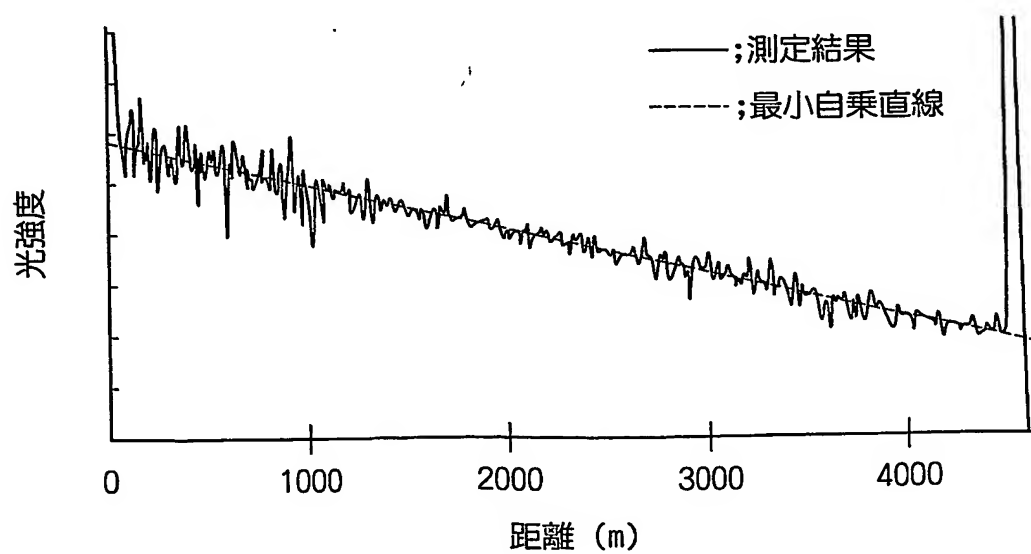


FIG. 2



2/10

FIG. 3

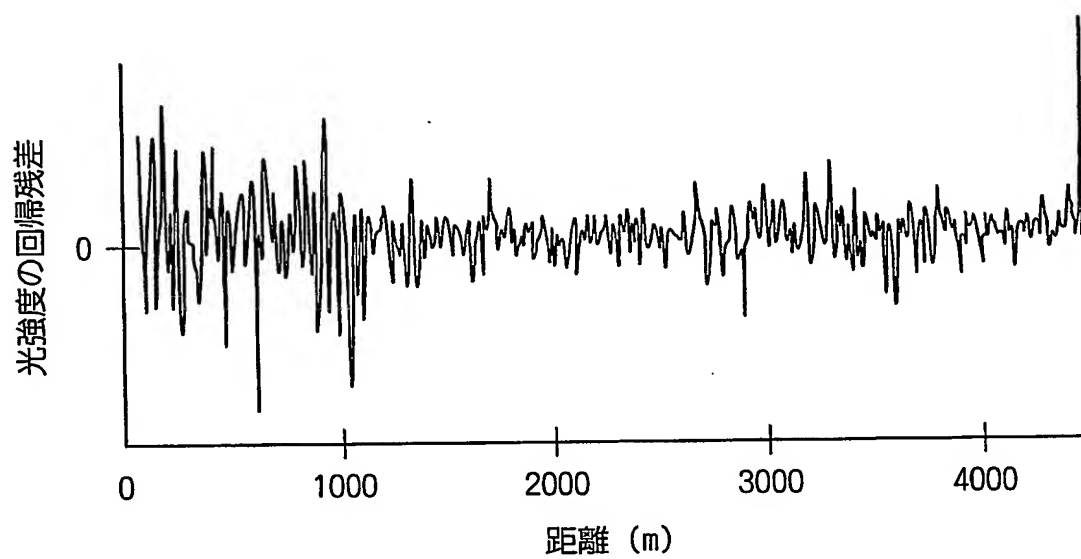


FIG. 4

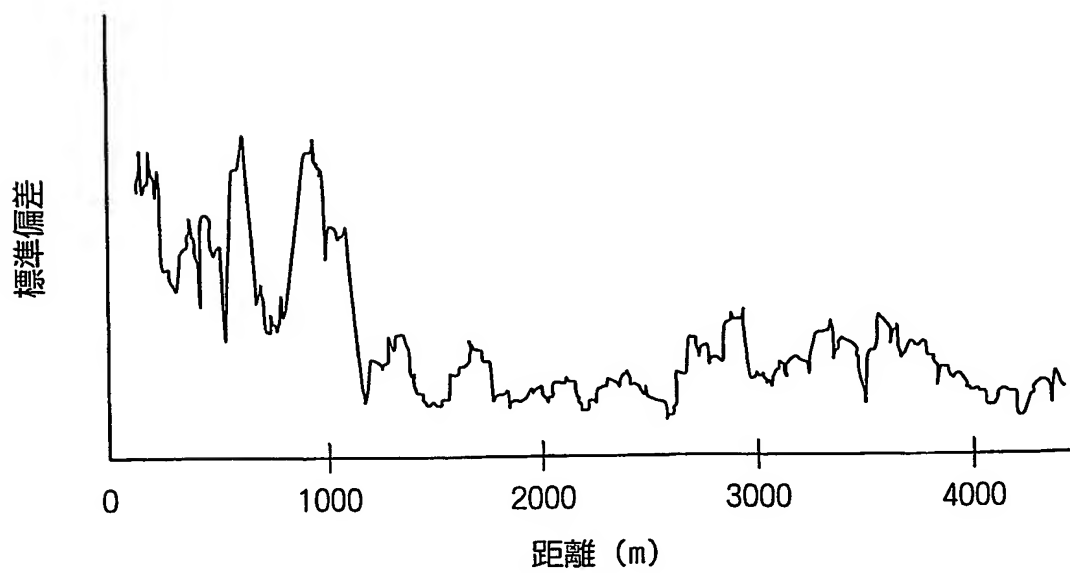


FIG. 5

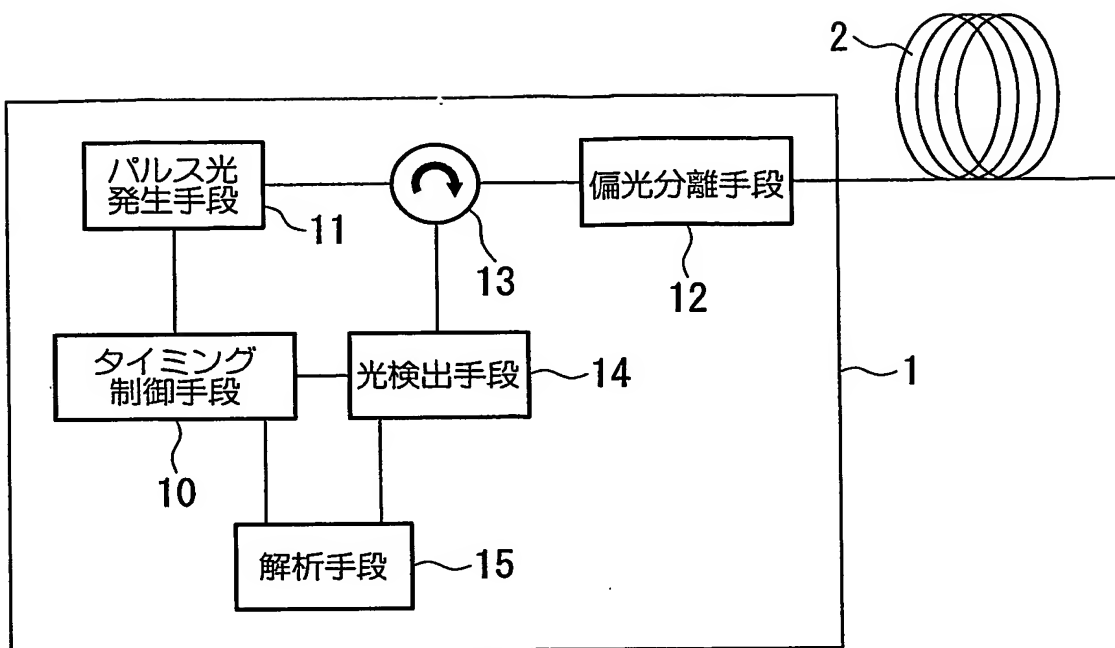


FIG. 6

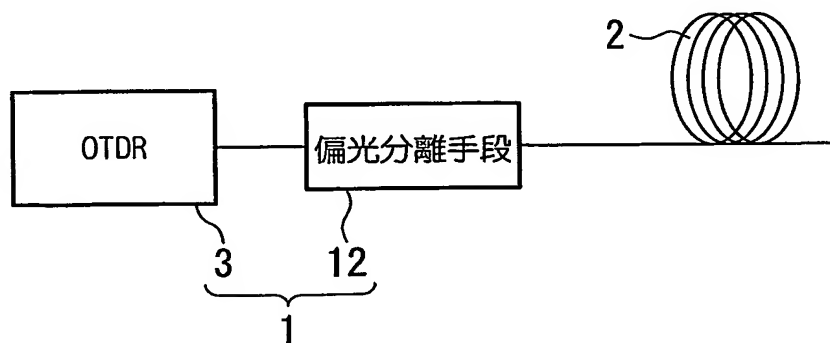
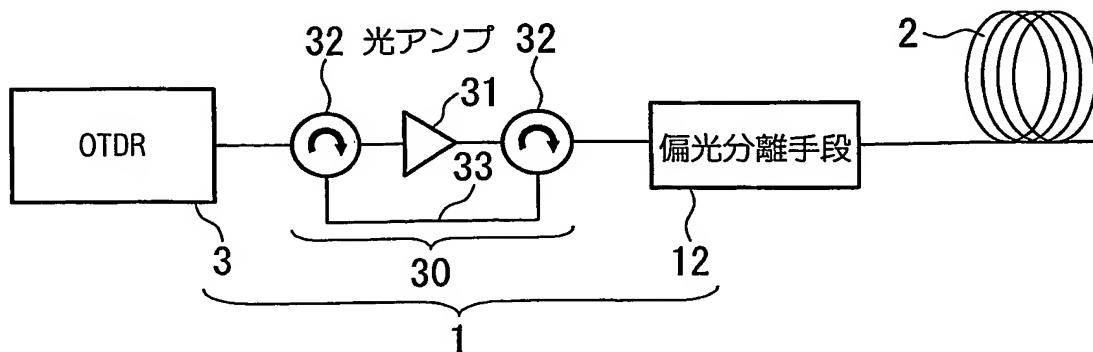


FIG. 7



4/10

FIG. 8

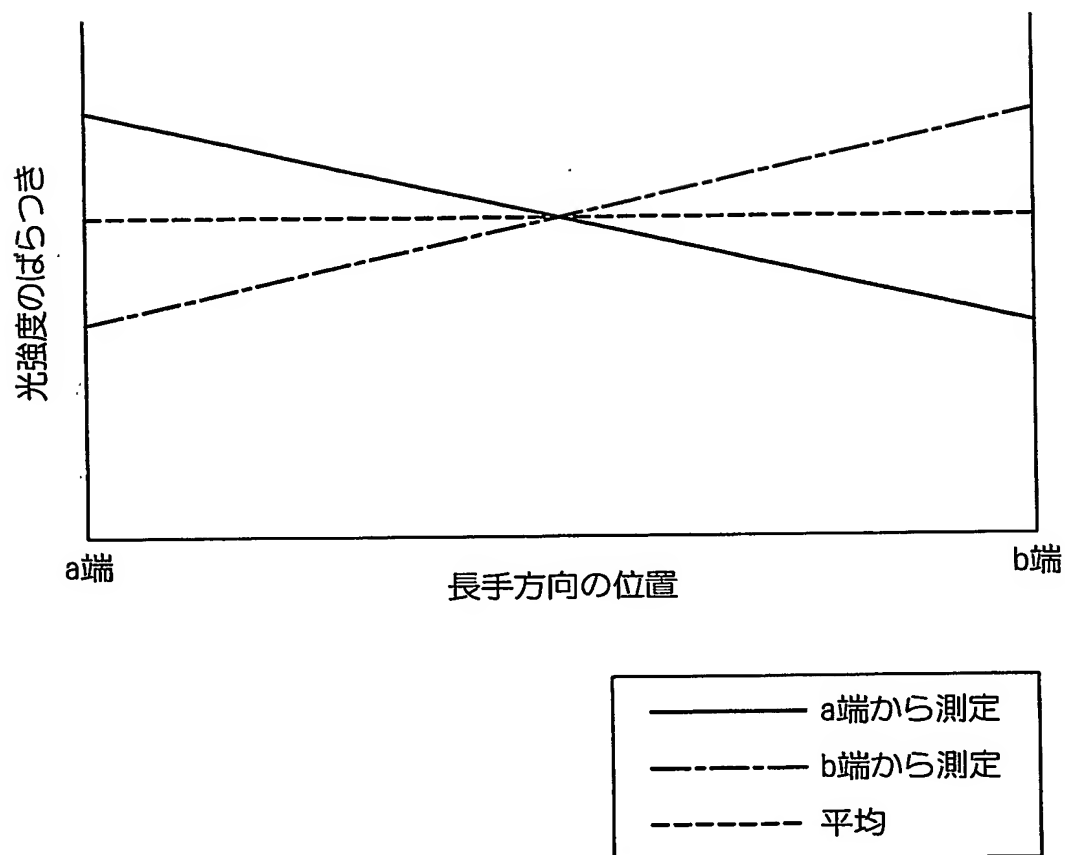
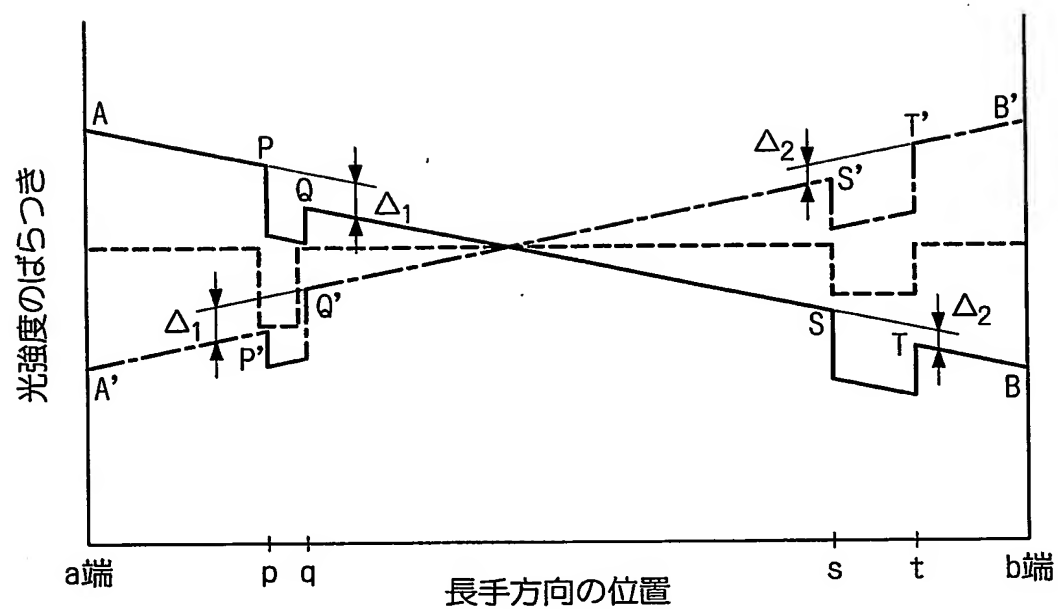




FIG. 9



—— a端から測定  
----- b端から測定  
----- 平均

6/10

FIG. 10A

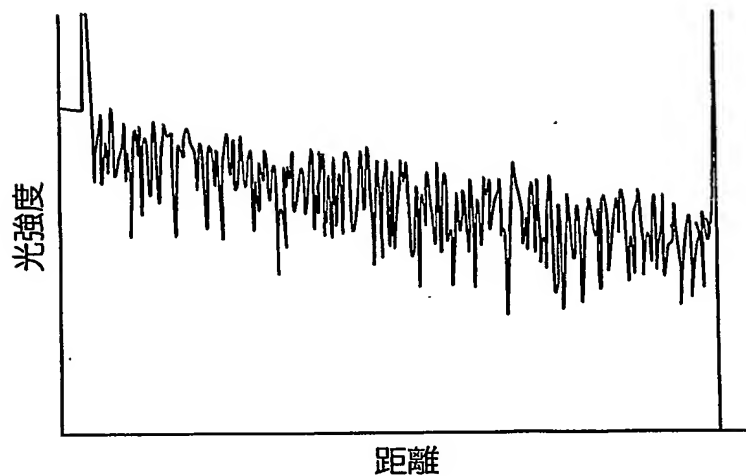


FIG. 10B

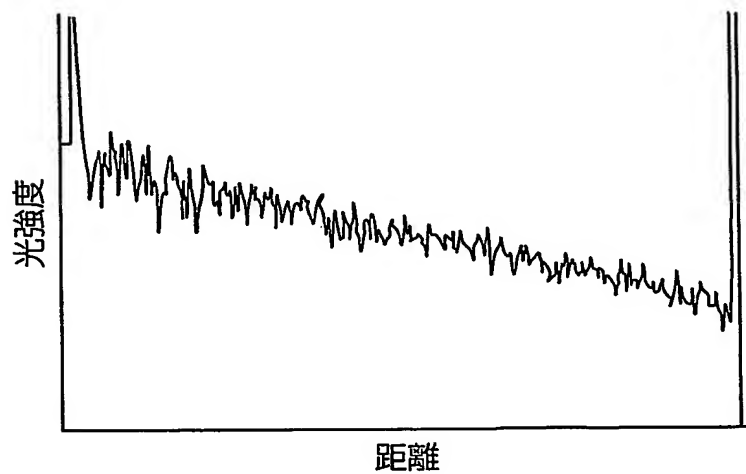
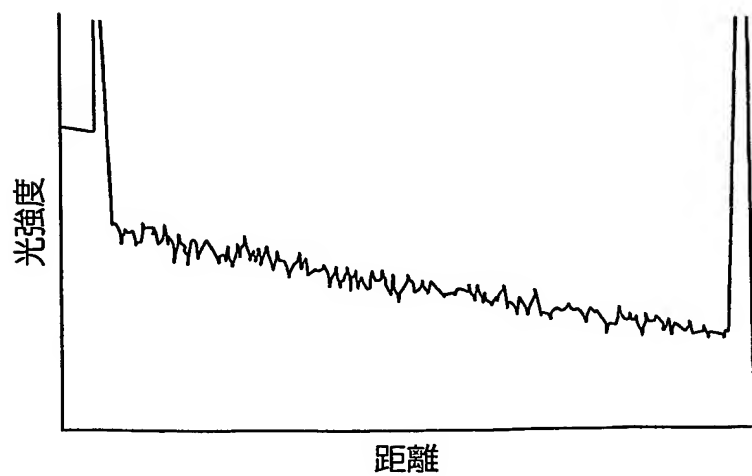
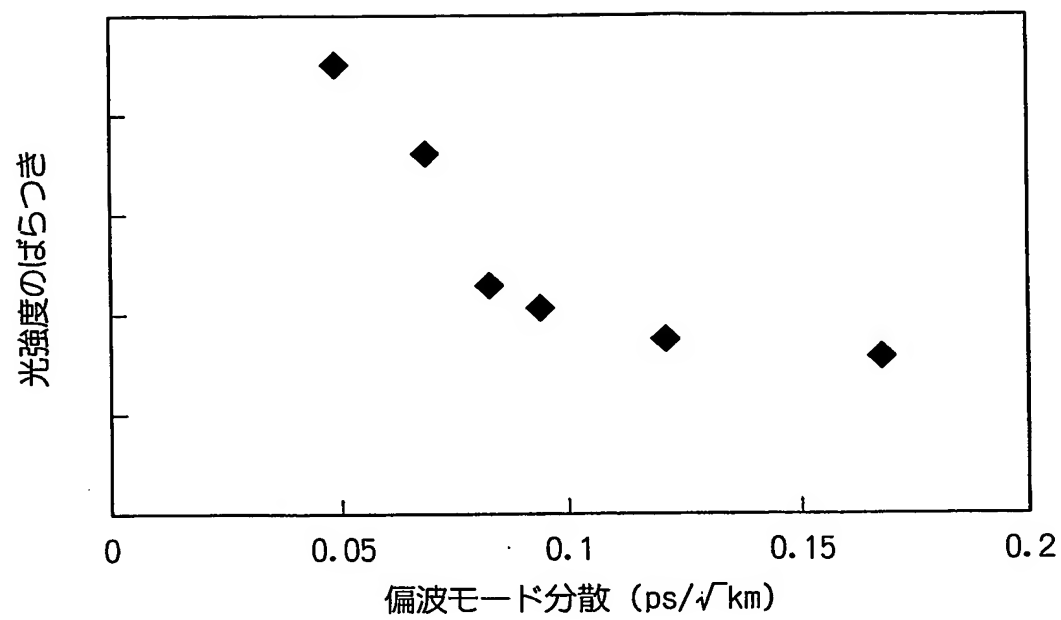


FIG. 10C



7/10

FIG. 11



8/10

FIG. 12A

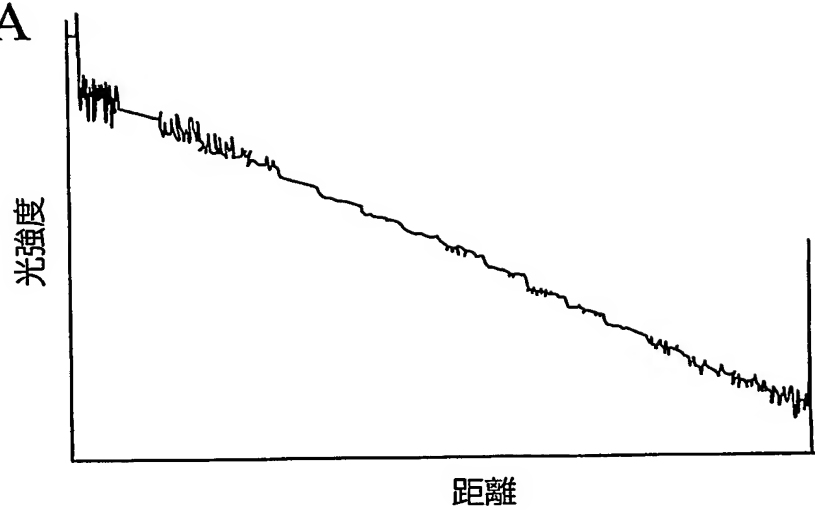
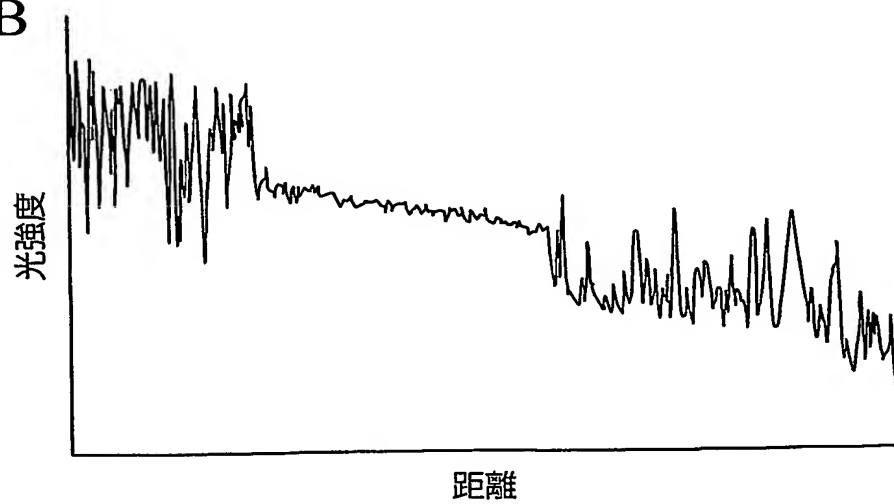


FIG. 12B



9/10

FIG. 13

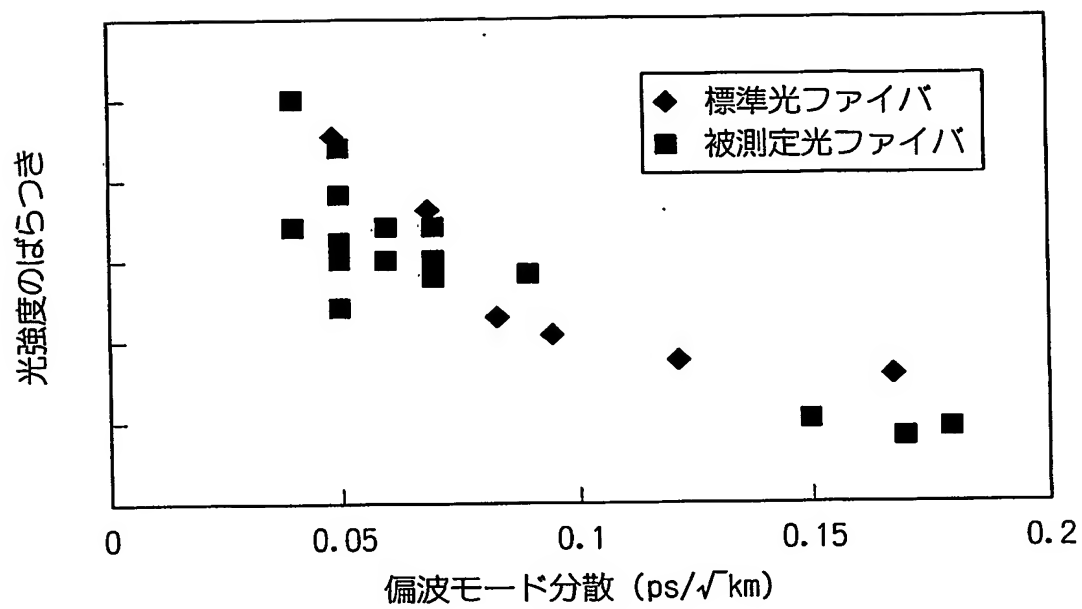
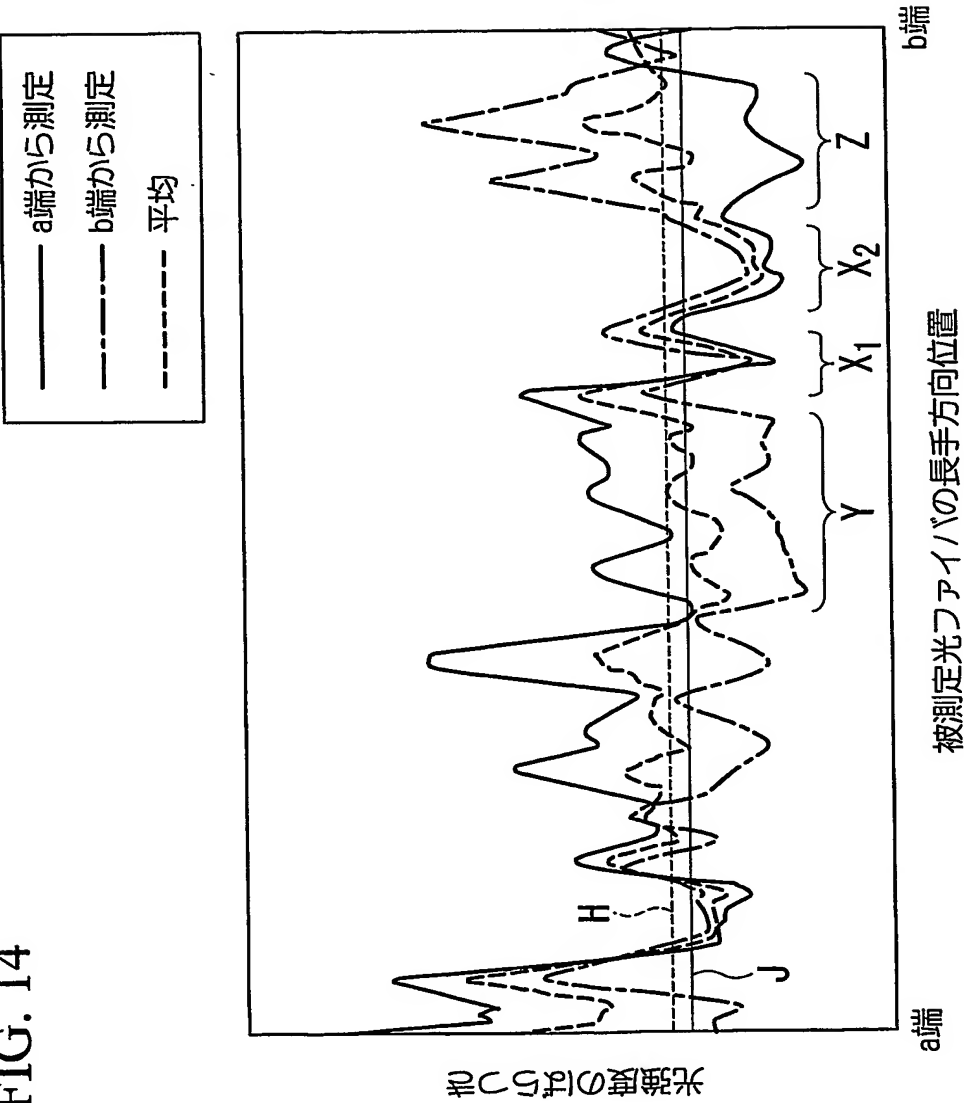


FIG. 14



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/09175

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> G01M11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G01M11/00-11/02, H04B10/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 62-207927 A (Yokogawa Electric Corp.), 12 September, 1987 (12.09.87), Full text; all drawings (Family: none)	1, 9, 12
A	JP 2001-516021 A (Corning Inc.), 25 September, 2001 (25.09.01), Full text; all drawings & WO 99/09397 A1 & US 5966207 A & EP 1005637 A & CN 1265193 A	1, 3, 9, 12
A	JP 2001-228054 A (Japan Science and Technology Corp.), 24 August, 2001 (24.08.01), Full text; all drawings & EP 1258719 A & WO 01/61303 A	1, 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
20 October, 2003 (20.10.03)

Date of mailing of the international search report  
04 November, 2003 (04.11.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/09175

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-48680 A (Anritsu Corp.), 15 February, 2002 (15.02.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 9



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> G01M11/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> G01M11/00-11/02, H04B10/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 62-207927 A (横河電気株式会社) 1987. 09. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 9, 12
A	JP 2001-516021 A (コーニング インコーポレ イテッド) 2001. 09. 25, 全文, 全図 & WO 99/09397 A1 & US 5966207 A & EP 1005637 A & CN 1265193 A	1, 3, 9, 12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20. 10. 03

国際調査報告の発送日

04.11.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号 100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田邊 英治



2W

9409

電話番号 03-3581-1101 内線 3290

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-228054 A (科学技術振興事業団) 2001.08.24, 全文, 全図 & EP 1258719 A & WO 01/61303 A	1, 9
A	JP 2002-48680 A (アンリツ株式会社) 2002.02.15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 9